

УДК 681.3: 519.9

*В.В. Сторож*

Донецкий государственный институт искусственного интеллекта

## Работа мозга. Нейролингвистический подход

В работе проведено сравнение принципов работы мозга и компьютера.

Показано, что организация человеческой памяти существенно отличается от компьютерной, и прежде всего наличием семантики и контекста. Введено понятие лингвистической компоненты семантической памяти.

Показано, что Шенноновское определение количества информации не учитывает связанной с наличием контекста информации и поэтому дает ошибочное значение количества информации, которое хранит и перерабатывает человек.

Сделано предположение, что исходной единицей восприятия и хранения языковой формы информации является не знак, а слово-понятие. Предложена формула подсчета количества информации у человека с учетом семантики и контекста. С использованием полученной формулы подсчитана емкость языковой памяти у человека и выяснено, что ее минимальное значение составляет порядка  $10^{10}$  бит, что намного выше показателя минимального объема человеческой памяти, приводимого в литературе.

### Введение

Исследования в области естественного и искусственного интеллекта привели к необходимости использования числовых измерителей, описывающих работу мозга. В частности, в качестве таких измерителей служат понятия объема памяти и скорости работы мозга, причем сами эти понятия используются в трактовке, принятой в компьютерных технологиях. В последние годы опубликован ряд работ, в которых сравниваются параметры мозга и компьютера [1-3]. Судя по результатам этих работ, компьютеры уже вплотную подошли к уровням памяти и быстродействия человеческого мозга. Однако парадоксальным образом исследователи в области искусственного интеллекта отмечают, что исследования по созданию искусственного интеллекта зашли в тупик [4] и традиционные компьютерные технологии не способны привести к его созданию даже на супермощных компьютерах с многими терабитами и терафлопами.

В связи с этим возникает ряд вопросов.

1. Насколько правомерны параллели между компьютерной и человеческой памятью? Это относится прежде всего к принципам их организации, обобщения информации и дальнейшего использования в процессе анализа информации и принятия решений.

2. В литературе приводятся различные оценки объема человеческой памяти: от  $10^9$  бит [1] до  $10^{25}$  бит [2]. Различие в оценках достигает 16-ти порядков! Так каковы же истинные границы человеческой памяти?

3. Неудачи в создании искусственного интеллекта показывают, что использование понятий памяти и быстродействия недостаточно для адекватного описания деятельности человеческого мозга. Необходимо введение понятий, присущих в настоящее время только человеческому интеллекту понимания, научения, мышления, сознания и т.д. Возможно ли описание этих понятий на количественном уровне? А если возможно, то каковы их границы?

Рассмотрению этих вопросов и посвящена настоящая статья.

## Память

Как уже отмечено выше, существуют совершенно различные оценки объема памяти у человека. Так, в работе [1] экспериментально измерялся объем запоминаемой человеком различного типа (текста, музыки, изображений и т.д.) внешней информации. Результаты рассчитывались по известной Шенноновской теории передачи по каналу связи подобному телефонному. На основании скорости запоминания (2 бита/сек) сделан вывод, что объем человеческой памяти не превышает  $10^9$  бит. При этом авторы предполагают, что вся память у человека обеспечивается поступающей извне информацией. Однако мозг запоминает и свои собственные состояния, сделанные ранее выводы, обобщения, аналогии и т.д. Память человека содержит не только отдельные элементы, но и связи (отношения) между ними. И объем этих связей может во много раз превышать объем, занимаемый «чистыми» элементами. Поэтому предполагаемая в [1] величина человеческой памяти представляется сильно заниженной.

Еще одна оценка основана на предположении, что число единиц (бит) человеческой памяти примерно равно числу синапсов мозга, что дает величину памяти примерно  $10^{13}$ – $10^{15}$  бит [2]. Но при таком подходе возникает вопрос: а почему число бит равно числу синапсов? Вообще говоря, синапсы – это объекты, а память – это процессы (состояния), происходящие в нейронах и их синапсах. И количество состояний вовсе не обязательно должно быть сравнимо с количеством синапсов. В этом смысле более логически обоснованной представляется оценка фон Неймана, который предположил, что верхняя граница человеческой памяти равна количеству импульсов, возникающих в человеческом мозге в течение жизни и составляет примерно  $10^{20}$  бит [2].

В работе [3] подсчитана емкость человеческой памяти с учетом того, что большинство нейронов мозга имеет большое количество входов (синапсов), предположив, что число состояний памяти равно числу состояний такого сложного нейрона, авторы получают оценку примерно  $2,5 \times 10^{13}$  бит/нейрон, а, учитывая, что человеческий мозг содержит примерно  $10^{12}$  нейронов [5], общая емкость человеческого мозга составляет порядка  $10^{25}$  бит. Не обсуждая самой величины, заметим, что и в данном случае возникает вопрос: а почему в качестве единичного запоминающего устройства выбран нейрон? Напротив, хорошо известно, что отдельные факты, навыки, понятия и т.п. содержатся в довольно обширных частях коры головного мозга, содержащих миллиарды нейронов [5]. Если следовать логике авторов работы [3] и посчитать комбинаторным путем число возможных состояний такого обширного нейронного ансамбля, мы

получим число, на много порядков превосходящее не только оценку авторов упомянутой работы, но и наибольшее физическое число – количество атомов в известной части Вселенной ( $10^{80}$ ). Как представляется, этот парадоксальный результат получается вследствие отождествления числа возможных состояний числом реально различимых состояний, что, вообще говоря, неправомерно.

Проведенный анализ показывает, что существует не просто очень большой разброс в оценке объема человеческой памяти, в основе этих оценок лежат допущения, никак не основывающиеся на известных из лингвистики и нейрофизиологии данных о принципах организации человеческой памяти.

Исследования в области нейрофизиологии, лингвистики и нейролингвистики позволили выявить некоторые важные черты памяти у человека.

В результате нейрофизиологических исследований было выявлено, что за отдельные единицы памяти, такие, как слова, образы, факты и т.п. ответственны не отдельные нейроны или их небольшие ансамбли, а целые области коры головного мозга, включающие в себя десятки и сотни миллиардов нейронов [6].

В работе [6] выдвинуто предположение, что запись информации в человеческом мозге основана на голографическом принципе. Но дело не просто в способе физической записи (в результате научного прогресса уже в ближайшие годы становится реальным использование голографического способа записи информации в компьютерных технологиях) дело в том, что сами элементы памяти у человека организованы принципиально иначе, чем в современных компьютерах.

Наиболее существенные отличия между компьютерной и человеческой памятью можно свести к следующим положениям:

- в компьютерных технологиях единицы информации независимы друг от друга (значение в одной ячейке не влияет на значения в других), в то время как у человека отдельные элементы памяти имеют семантику (смысл, значение), и их содержание зависит от контекста (информационного окружения) [3], [5-12];
- компьютер запоминает информацию пассивно – один к одному. Человек же, наоборот, активно перерабатывает информацию, анализирует, обобщает и запоминает не входящие извне данные, а свой собственный сложный комплекс переживаний и размышлений по поводу входящей информации [13];
- в компьютере данные и алгоритмы их переработки (программа) четко разделены. У человека данные и знания через семантику (смысл, значение) и контекст активно влияют друг на друга и поэтому нельзя четко разделить данные и программу их переработки.

Рассмотрим эти вопросы более подробно.

Единицей хранения информации в компьютерных технологиях является бит или некоторый знак (например, при записи текста). У человека такой единицей является слово-понятие вместе со всеми его связями и значениями [7, 21-27]; модели этого слова-понятия могут быть выражены в виде прототипа [8, 164], семантических сетей, фреймов и т.п. [8, 163], [14, 29]. Все эти виды памяти и ее модели относятся к семантической памяти, являющейся долговременной и сравнительно неизменной. Вторым видом долговременной памяти является память на события или образы – эпизодическая по [8, 163], или запоминание гештальтов [15]. При этом в норме у правши за семантическую (выраженную в языке) память отвечает левое полушарие, а за образную (выраженную в гештальтах) память – правое полушарие [8, 31-32], [16, 184].

Исключительно важным свойством семантической памяти является ее контекстный характер. В общем случае под контекстом понимается, с одной стороны, зависимость смысла какой-либо единицы или блока информации от окружающей информации, с другой стороны, контекстом называется некоторый локальный, суженный объем понятия, текста, образа и т.д. Семантика данного блока информации содержит в себе множество возможных контекстов, но не потенциально, как обобщенный образ (знание обобщенного образа не позволяет без дополнительной информации перейти к множеству конкретных значений-контекстов), а реально, в текущем переживании, как смысл или значение. Контекст может задаваться различными механизмами: как важность данной информации; как характер эмоций, связанных с данной информацией; как множество всех лингвистических значений, связанных с данным словом-понятием. По-видимому, перечень механизмов создания контекста этим не ограничивается, но мы ограничимся лишь лингвистическими механизмами создания контекста.

Итак, основной, базовой единицей передачи и хранения информации является понятие. Понятие тесно связано со словом, но не тождественно ему. Многие слова могут выражать различные понятия (омонимия), либо родственные, но не совпадающие (например, глагол «становиться» может означать и построение в армии, и любой процесс превращения, и процесс идеального развития в гегелевской философии); и, наоборот, многие понятия могут быть выражены двумя и более словами (железная дорога, глупый маленький мышонок и т.д.). По-видимому, существуют и не представленные словами понятия. В частности, это знания эксперта в некоторой предметной области, которые непосредственно в словах невыразимы, и для их более или менее адекватной формулировки необходима дополнительная работа с участием специалиста.

Как уже указывалось, любое понятие имеет некий центральный блок, отображающий центральное «ядро» и окружающее это ядро семантическое поле. (Вообще говоря, содержание термина «понятие» гораздо сложнее [15], но мы в дальнейших рассуждениях ограничимся этим подходом). Одной из важнейших компонент этого семантического поля является лингвистическая, представляющая собой набор наиболее вероятных связей данного понятия с другими, типичные ситуации, в которых используется это понятие, личностная окраска и др. В этом смысле язык, как он представлен в мозге, сам по себе представляет память. В смыслах и оттенках понятий содержится все, что переживал и передумал человек на протяжении своей жизни.

Отдельное понятие или их небольшую группу принято моделировать семантическими сетями, фреймами и т.п. [14, 29].

Вышеприведенное содержание термина «понятие» позволяет уяснить, каким образом у человека реализуется контекстное представление информации. Вначале мы имеем отдельные понятия с окружающими их семантическими полями, включающими в себя все множество опыта, переживаний и размышлений, связанных с данным понятием. При сочетании ряда понятий в предложении (речи, тексте) происходит их взаимодействие, в результате чего ограничивается объем понятий. При этом семантическое поле каждого отдельного понятия сужается, а в сумме понятия отражают некоторую целостную картину, которую мы и называем контекстом. Процесс образования конкретного контекста

напоминает логическое умножение, однако он значительно более гибок относительно содержания понятий. Важно отметить, что в процессе образования речи или текста происходит не только сужение отдельных понятий в рамках данного контекста, но и расширение семантического поля этих понятий (по крайней мере, в рамках данного сообщения). Это связано с тем, что каждое новое понятие или их группа расширяют класс ситуаций, в котором происходит выбор, и увеличивают пространство выбора, а именно выбор лежит в основе классического представления о количестве информации.

Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что классический подход к определению количества информации, опирающийся на работы Н. Винера, К. Шеннона и А.Н. Колмогорова, является неверным по отношению к человеку. Так, при классическом подходе количество информации в тексте:

$$I_{\text{класс}} = k \ln N, \quad (1)$$

где  $N$  – количество знаков в данном алфавите, а  $k$  – количество знаков в тексте (для простоты рассмотрен случай, когда вероятности знаков равны). В этом случае количество информации, связанное с одним знаком, задано заранее и не зависит от длины текста. Иначе говоря, контекстная зависимость отсутствует.

При наличии же контекстной зависимости выражение (1) преобразуется к виду:

$$I_{\text{семантич}} = k \ln (N_1 N_2 \dots N_n) = k (\ln N_1 + \ln N_2 + \dots + \ln N_n), \quad (2)$$

где  $n$  – количество уровней контекстности,  $N_1, N_2, \dots, N_n$  – количество смысловых единиц на данном уровне,  $k$  – количество простейших единиц информации (слов) в данном языке; при этом существуют уровни отдельных слов-понятий, предложений, отдельных текстов. Не обсуждая в данном случае перечня всех возможных уровней создания контекстности и количественных отношений для каждого из них, заметим лишь, что количество информации в каждой исходной смысловой единице, а также контекстном подуровне увеличивается с появлением новых, вышележащих уровней контекста.

Таким образом, при наличии семантики и контекста одним и тем же количеством единиц информации можно записать больше информации, чем в классическом случае на величину:

$$I_{\text{семант}} - I_{\text{класс}} = k (\ln N_2 + \dots + \ln N_n), \quad (3)$$

где  $N_2, \dots, N_n$  – вышележащие уровни и количество смысловых единиц в них.

С учетом полученных отношений оценим минимальное количество семантической информации, содержащейся в языке. Предположим, что в каждом слове-понятии содержится одинаковое количество информации, общая формула для объема выраженной в языке семантической информации у человека должна иметь следующий вид:

$$I_{\text{лингв}} = k (I_1 + I_2 + I_3), \quad (4)$$

где  $k$  – количество символов-понятий в языке отдельного человека;

$I_1$  – объем информации, содержащейся в центральном «ядре» понятия;

$I_2$  – объем информации в окружающем его семантическом поле;

$I_3$  – контекстная информация.

В стандартном словаре любого языка содержится порядка  $10^5$  слов. Но каждое из этих слов имеет, как правило, несколько различающихся значений. Плюс понятия, выражаемые двумя и более словами. В результате получаем, что число понятий  $k$ , которым оперирует взрослый человек, составляет порядка  $10^6$ .

Далее необходимо определить значения  $I_1$ - $I_3$ . При этом мы должны учитывать, что, с одной стороны, принципы хранения и использования информации в человеческом мозге существенно отличаются от принципов, используемых в современной компьютерной технологии, а с другой стороны у нас в настоящее время нет методик, позволяющих оценивать информационную емкость в понятиях, соответствующих принципам организации мозга. Поэтому в данной работе мы используем понятие *эквивалентной информационной емкости*, подразумевая под ней то количество информации в мозге, которое отображено в компьютерных понятиях. С учетом этого замечания во всех дальнейших рассуждениях мы считаем, что объем информации, связанной с данным понятием, равен числу бит, необходимых для организации ссылок на другие понятия, относительную интенсивность этих ссылок в общем смысловом поле и описание возможных комбинаций интенсивности. Описание других понятий (за исключением их возможной интенсивности при взаимодействии с данным понятием) при описании данного понятия в этом случае не происходит. Очевидно, что при таком подходе мы не учитываем многих семантических и структурных компонент и заведомо получаем нижнюю границу памяти у человека. Но и такой результат представляет интерес.

В соответствии с вышеописанным подходом объем информации, связанный с центральным ядром понятия равен информационной емкости ссылок на другие понятия, определяющие данное понятие. С одним знаком алфавита связано примерно 5 бит ( $32$  знака в алфавите и  $\ln_2 32 = 5$ ), длина отдельного словесного эквивалента понятия примерно 10 букв, а длину определения определим в среднем в 20 слов. Тогда  $I_1 \approx 5 \times 10 \times 20 = 10^3$  бит.

Примерный объем информации, находящейся в семантическом поле понятия, определим следующим образом: пусть с каждым понятием в среднем связано 10 ассоциаций, а каждая их этих ассоциаций состоит в среднем из 10-ти понятий. Адрес каждого понятия, как и в предыдущем случае, составляет 50 бит. Информацией, связанной с интенсивностью представления какого-либо понятия пренебрежем, поскольку она выражается, по-видимому, всего несколькими битами информации. В результате получаем:

$$I_2 \approx 50 \times 10 \times 10 = 5 \times 10^3 \text{ бит.}$$

Контекстную составляющую высших уровней  $I_3$  посчитать на основе общих соображений, по-видимому, невозможно, поскольку здесь представлена не только память, но и мышление, интеллект. Мы помним только часть контекстных зависимостей; вторую часть мы не помним, а воссоздаем на основании знания языка и мира в процессе восприятия текста или речи этот процесс логичнее отнести к мышлению, а не к речи. Поэтому для простоты в данном анализе мы эту составляющую учитывать не будем.

$$\text{Итак, } I_{\text{семантич}} \approx 10^6 \times (10^3 + 5 \times 10^3) \approx 10^{10} \text{ бит.}$$

Таким образом, минимальный объем семантической информации у человека, связанный с речью и языком, составляет порядка  $10^{10}$  бит. Сюда не включены знания человека о мире, а также образная, эмоциональная, моторная и другие виды памяти. Поэтому представляется, что суммарная память у человека как минимум на несколько порядков выше полученной оценки.

Рассмотрим теперь вопрос не об общем количестве информации, а о ее содержании. Компьютер запоминает внешнюю информацию без изменений, человек же ее преобразует и сжимает, причем это преобразование начинается на самых начальных стадиях получения информации извне. В частности, известно, что у человека в глазу находится около 125 миллионов светопринимающих колбочек [5, 61]. При частоте регистрации и прохождения электрических импульсов через нервное волокно порядка 100 Гц, и отсутствии сжатия, общий объем информации, поступающий в мозг, составлял бы порядка  $10^8$  бит/сек. Реальный объем информации, поступающей в мозг, на несколько порядков меньше. Как показано Нобелевским лауреатом в области нейрофизиологии зрения Д. Хьюбелом, переработка, в том числе и сжатие информации, начинается уже в глазу. В мозгу зрительная информация еще несколько раз преобразуется и на каждом этапе сжимается [5].

По-видимому, существует большое множество форм и этапов сокращения материала первичных психических переживаний, запоминания этих сокращенных форм и использования их в последующей деятельности. Наивысший уровень преобразования и сжатия информации – это обобщение и установление закономерностей с использованием понятий языка. Например, если мы устанавливаем, что некоторый процесс с очень большим числом элементов описывается определенной математической функцией, то тем самым мы на несколько порядков сжимаем информацию. То же относится к любому корректному обобщению. Таким образом, оперируя понятиями, человек существенно сжимает информацию. Этот процесс можно также назвать моделированием, поскольку сущность моделирования как раз и заключается в максимально возможном сжатии информации, которое еще позволяет данная задача. В свою очередь максимально возможное сжатие определяется как самой средой, которую мы моделируем, так и задачами, которые стоят перед субъектом познания, а также той точностью отображения, с которой он может отобразить поведение объекта в заданном пространственно-временном интервале или интервале условий.

Образование различного уровня моделей основано на различного типа способах снижения размерности психических ощущений. Эти способы, по-видимому, похожи на те, что сейчас используются в нейросетях. Таким образом, различные этапы «сжатия» внешних ощущений представляют собой, по сути, этапы снижения размерности по технологии, подобной той, что используется в нейросетях. Здесь нужны следующие замечания:

- существует предел сжатия этой информации до количества терминов, используемых нами в языке. При этом такой предел не является статичным, а изменяется в соответствии с опытом человечества, его потребностями и уровнем интеллекта. Часть понятий (на первых этапах своего возникновения или на протяжении всей практики их использования) может не иметь отдельных обозначений (слов или знаков для их выражения) и использоваться

- путем описания с помощью ограниченного количества других понятий. Такого рода понятия образуют своего рода ауру вокруг определенных в языке однословных понятий. Их назначение – облегчение мышления отдельного человека, так и общение между хорошо знакомыми людьми;
- сжатие, осуществляемое путем снижения размерности, не является простой процедурой и не сопровождается просто отбрасыванием части информации. Скорее это построение некоторой сетки наиболее важных в данной ситуации понятий, на периферии которых находятся менее важные понятия. Гибкость человеческого мышления заключается в том, что в зависимости от задачи (потребностей, эмоций, намерений) менее важные элементы могут выйти на первый план, образуя подобную или другую по структуре сетку из ранее периферийных понятий – калейдоскоп является хорошим наглядным образом этого процесса;
  - любое самое абстрактное понятие является представлением той или иной формы нашего опыта, но только в сжатом виде, и с этой точки зрения абстракции (выраженные в понятиях, концепциях, теориях и т.д.) не содержат в себе никаких мистических, независимых от опыта сущностей;
  - в свете вышеприведенных рассуждений процесс представления информации у человека является значительно более сложным, чем принято считать по Шеннону. Информация должна описываться как минимум двумя параметрами: длиной сообщения и степенью ее обобщения.

Продолжая сопоставление мозга и компьютера, можно провести некоторую аналогию между знаниями, выраженными в человеческом языке, и компьютерной программой. Объединяет их то, что в обоих случаях идет преобразование информации. Но в компьютере программа и данные либо совсем не зависят друг от друга (современные базы данных), либо эта зависимость статична (экспертные системы и вообще все системы, основанные на правилах). В отличие от компьютера, у человека происходит динамичное взаимодействие языка и информации. В процессе этого взаимодействия человек получает новое знание, и это знание находит свое отражение в языке путем либо появления новых понятий, либо модификации, обогащения смысла уже имеющихся понятий. Если провести аналогию с компьютером, то можно сказать, что новая информация, получаемая извне или в результате внутренней обработки информации, постоянно, непрерывным образом модифицирует саму программу, принципы интерпретации, обобщения и записи информации.

## Мышление, интеллект

Человека от животных отличает наличие языка и мышления, в связи с чем можно считать, что язык и мышление тесно взаимосвязаны и взаимообусловлены. Проведенное ранее рассмотрение показывает, что язык, в свою очередь, тесно связан с семантической компонентой памяти (хотя и не исчерпывает ее). Новая информация не просто запоминается, она интерпретируется с учетом уже имеющейся информации, выраженной как на эмоциональном и образном уровнях, так и на уровне языка. Суть интерпретации заключается в создании некоторого



контекста, определяющего объем и оттенки отдельных понятий, которыми описывается интерпретированная информация.

Поскольку задачей мышления, интеллекта как раз и является переработка, интерпретация информации и принятие решений в контексте задач, стоящих перед человеком в текущий момент, можно сделать вывод, что суть мышления, интеллекта состоит в обобщении поступающей информации и (или) выработке новых контекстов, позволяющих более адекватно описывать ситуацию.

К аналогичному выводу пришел А.И. Поляков в процессе поиска путей интеллектуализации современных компьютеров: «интеллект суть способность выбора некоторого конкретного контекста (из порожденного явлением информации их множества)» [12]. В то же время его позиция несколько уже, предложенной в данной статье, поскольку он не выделяет роль анализа, обобщения информации.

Мышление можно описать двумя взаимосвязанными, параметрами:

- общим количеством состояний, которое может быть отражено в мышлении. Этот параметр показывает нам, насколько большое число состояний окружающего мира мы можем отобразить, промоделировать в мышлении;
- объемом информации, представленной в одном состоянии.

Ответ на первый вопрос достаточно очевиден. Так, известный лингвист И.П. Сусов считает, что «язык, в отличие от всех прочих знаковых систем, обладает неограниченной информационной мощностью, так как он способен служить передачи информации любого рода о любом событии, факте, явлении, ситуации реального и представляемого мира» [17]. Можно согласиться с этой точкой зрения, поскольку число состояний равно множеству всех подмножеств исходных элементов сообщения, а эта величина даже для сравнительно небольшого числа элементов (несколько десятков) превышает наибольшее известное физическое число ( $10^{80}$ ).

В то же время ответ на второй вопрос далеко не очевиден. Так, хорошо известен экспериментально установленный факт, что в памяти у человека одновременно может находиться не более  $7 \pm 2$  объектов. Но мы знаем, что информация содержится не только в самих объектах, но и в их взаимосвязях, семантике. Так сколько этой семантики может находиться в памяти? Как показывает опыт написания, чтения и интерпретации литературных произведений, эта цифра выражается в битах числом со многими нулями. Вполне возможно, что это число сравнимо с мощностью электрических импульсов в мозге и находится на уровне  $10^{14}$ – $10^{16}$  бит.

## Выводы

Проведена аналогия между памятью у человека и компьютерной программой. Показано, что, в отличие от компьютера, у человека происходит динамическое взаимодействие информации и языка, в результате чего осуществляется непрерывная модификация механизмов переработки информации.

Предложен подход к интеллекту как механизму обобщения информации и ее интерпретации посредством создания или выбора контекста. Предложено на

количественном уровне описывать мышление двумя параметрами: общим количеством состояний и объемом информации, который может быть представлен в одном состоянии. Приведены некоторые соображения о количественной стороне этих параметров.

## Литература

1. Landauer K.Th. How Much Do People Remember? Some Estimates of the Quantity of Learned Information in Long-term Memory // *Cognitive Science*. – 1986. – № 10. – P.477-493.
2. Merkle R. How Many Bytes in Human Memory? // *Foresight Update*. – 1988. – № 4. – P.2.
3. Лачинов В.М., Поляков А.О. Информодинамика или Путь к Миру открытых систем. – СПб: СПбГТУ, 1999.
4. Шевченко А.И. Функциональная схема формирования искусственного интеллекта // *Искусственный интеллект*. – 2000. – № 3. – С.7-16.
5. Хьюбел Д. Глаз, мозг, зрение. – М.: Мир, 1990. – 239 с.
6. Прибрам К. Языки мозга. – М.: Прогресс. – 598 с.
7. Лурия А.Р. Основные проблемы нейролингвистики. – М.: Московский университет. – 1975. – 253 с.
8. Клацки Р. Память человека. Структуры и процессы. – М.: Мир, 1978. – 319 с.
9. Иванов В.В. Чет и нечет: Асимметрия мозга и знаковых систем. – М.: Советское радио, – 1978. – 184 с.
10. Ротенберг В.С. Две стороны одного мозга и творчество // *Интуиция. Логика. Творчество*. – М., 1987.
11. Кубрякова Е.С., Сахарный Л.В., Шахнарович А.М. Человеческий фактор в языке: Язык и порождение речи. – М.: Наука, 1991. – 240 с.
12. Поляков А.О. От количественной информации к информодинамической машине. СПб.: Санкт-Петербургский технический ун-т, 2001.
13. Сторож В.В. Семантические аспекты мышления и моделирование // *Искусственный интеллект*. – 2001. – № 2.
14. Алексеева И.Ю. Человеческое знание и его компьютерный образ. – М.: Наука, 1992. – 132 с.
15. Основные направления психологии в классических трудах. Гештальт-психология. М.: АСТ-ЛТД. – 1998. – 704 с.
16. Прангишвили И.В., Абрамова Н.А., Спиридонов В.Ф., Коврига С.В., Разбегин В.П. Поиск подходов к решению проблем. – М.: Синтез, 1999. – 284 с.
17. Сусов И.П. Введение в теоретическое языкознание. – Тверь: Тверский университет, 2000.

*Материал поступил в редакцию 15.06.01.*